

Формирование доменных лучей при переключении поляризации в аномально слабых полях в монокристаллах ниобата лития, модифицированных методом протонного обмена

Е.Д. Савельев^{1,2}, А.Р. Ахматханов¹, В.Я. Шур¹

¹*Институт естественных наук и математики, Уральский федеральный университет, 620000
Екатеринбург, Россия*

e-mail: evgeny.savelyev@urfu.ru

²*Université Côte d'Azur, CNRS, Institut de Physique de Nice*

Ниобат лития (LN) является наиболее распространённым материалом, используемым в нелинейной оптике, лазерной технике и пьезоакустике. Для применений в области интегральной оптики в кристаллах LN создаются каналные волноводы [1]. Одним из популярных методов создания волноводов является протонный обмен (PE LN). В этом случае кристалл помещается в жидкий горячий источник ионов H^+ (как правило, слабые кислоты), что приводит к замене в приповерхностном слое ионов Li^+ ионами H^+ и уменьшению величины спонтанной поляризации. Для оптимизации оптических свойств волноводов в расплав кислоты добавляют бензоат лития, что уменьшает скорость протонного обмена (soft PE) [1]. В этом случае получается волновод SPE LN с градиентным профилем распределения концентрации H^+ , малыми оптическими потерями и практически полностью восстановленными нелинейно-оптическими и сегнетоэлектрическими свойствами [1]. Для нелинейно-оптических преобразований в LN волноводах необходимо создание в них прецизионных регулярных доменных структур с микронными периодами [2], что требует глубокого изучения кинетики доменной структуры в SPE LN.

В работе изучены особенности кинетики доменной структуры в SPE LN. Протонный обмен был проведен в вырезанных перпендикулярно полярной оси пластинах LN толщиной 0,5 мм в Институте физики Ниццы (INPHINI, Ницца, Франция). Проводилась обработка образцов в бензойной кислоте с добавлением 2,9% бензоата лития при температуре 300°C в течение 72 часов. Профиль распределения концентрации H^+ в образце измерен методом конфокальной микроскопии комбинационного рассеяния (КМКР) с субмикронным пространственным разрешением по глубине. Полная глубина модифицированного слоя составила около 3 мкм на Z^+ поверхности и около 5 мкм на Z^- поверхности.

Кинетика доменной структуры в процессе переключения поляризации исследовалась в полях от 1,8 до 24 кВ/мм. Переключение производилось при приложении прямоугольных импульсов поля с использованием жидких электродов (насыщенного водного раствора LiCl) с *in situ* оптической визуализацией кинетики доменной структуры с разрешением по времени до 200 мкс. Визуализация статической доменной структуры на поверхности и в объёме производилась методом КМКР с пространственным разрешением около 400 нм.

Было установлено, что переключение в исследуемых образцах начиналось в аномально слабых полях: движение доменных стенок наблюдалось при 1,8 кВ/мм, а образование и рост полосовых доменов (доменных лучей) - при 2,4 кВ/мм (Рис. 1а), тогда как пороговое поле в конгруэнтном LN составляет около 21 кВ/мм. Традиционный рост гексагональных доменов в SPE LN наблюдался только в полях более 22 кВ/мм.

Показано, что рост доменных лучей на Z^+ поверхности происходит преимущественно вдоль X и Y кристаллографических направлений (Рис. 1а). Исследована зависимость общей длины лучей от времени. Фурье-фильтрация мгновенных оптических изображений доменной структуры позволила провести отдельный анализ лучей, ориентированных вдоль различных направлений. Установлено, что с ростом поля анизотропия ориентации лучей уменьшается. Визуализация статической доменной структуры на Z^+ поверхности методом КМКР показала, что ширина лучей не превышает 4 мкм, а глубина до 200 мкм (Рис. 1 б,в). Уменьшение порогового поля можно отнести за счет поля смещения, созданного градиентом состава в приповерхностном слое. Причём прорастание доменов в

полярном направлении происходит за счёт движения кинков в поле, создаваемом заряженными кинками [3].

В полях более 10 кВ/мм начинается дополнительный процесс переключения на Z-полярной поверхности с образованием и ростом удлинённых доменов без выраженной анизотропии и доменными стенками сложной формы (Рис. 1д). С использованием методов КМКР было показано, что рост доменов происходил за счёт образования ступеней на движущейся доменной стенке при слиянии с нанодоменами, образующимися за счёт эффекта коррелированного зародышеобразования (Рис. 1е,г) [4]. Наблюдаемая кинетика доменной структуры свидетельствует о существенном вкладе диэлектрического поверхностного слоя, уменьшающего эффективность внешнего экранирования деполаризующего поля [4].

Наблюдаемый эффект представляется исключительно важным для развития методов доменной инженерии при создании регулярных доменных структур.

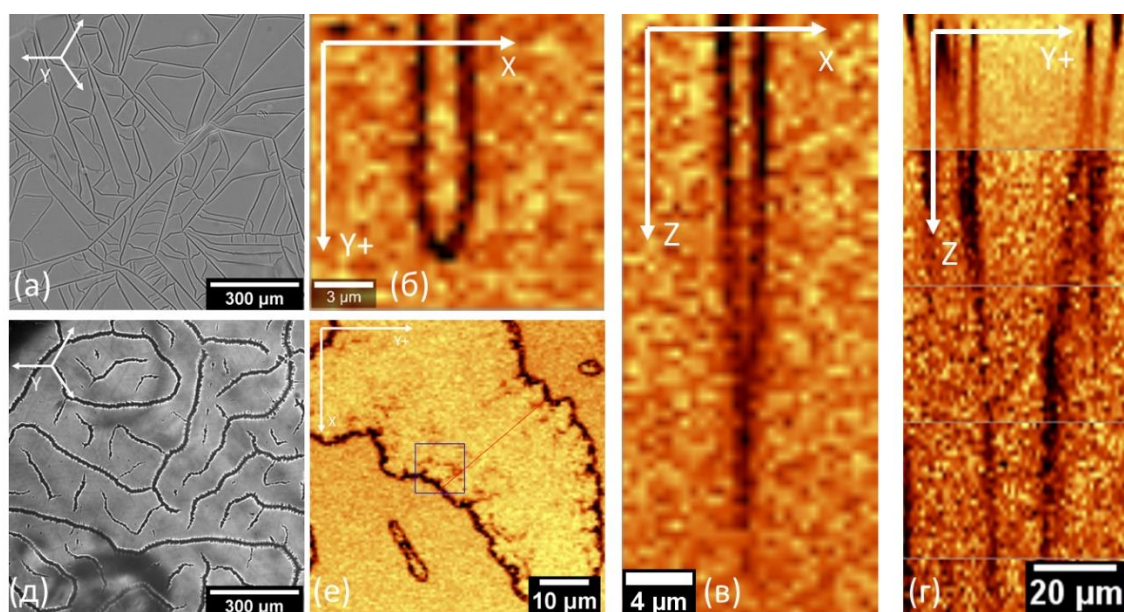


Рисунок 1. Изображения доменной структуры, полученной после частичного переключения поляризации в образцах SPE LN на (а-в) Z+ и (г-е) Z- полярных поверхностях в поле 4 кВ/мм и 20 кВ/мм соответственно. (а), (д) Оптическая визуализация в процессе переключения. (б-г,е) КМКР изображения доменной структуры в (б), (е) XY и (в,г) YZ плоскостях.

В работе использовалось оборудование Уральского центра коллективного пользования «Современные Нанотехнологии» УрФУ. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90192.

1. L. Chanvillard, P. Aschiéri, P. Baldi, D.B. Ostrowsky, M. de Micheli, L. Huang, D.J. Bamford, *Appl. Phys. Lett.* **76**, 1089 (2000).
2. M. Yamada, N. Nada, M. Saitoh, K. Watanabe, *Appl. Phys. Lett.* **62**, 435 (1993).
3. V.Ya. Shur, E.V. Pelegova, A.P. Turygin, M.S. Kosobokov, Yu.M. Alikin, *J. Appl. Phys.* **129**, 044103 (2021).
4. V.Ya. Shur, "Correlated Nucleation and Self-Organized Kinetics of Ferroelectric Domains" in *Nucleation Theory Applications* (WILEY-VCH, Weinheim), 178 (2005).